

Strain 및 Strain Rate 심장초음파를 이용한 수축기 심부전과 이완기 심부전의 감별

가톨릭대학교 의과대학 내과학교실

정해억 · 윤호중 · 신우승 · 김범준 · 박철수 · 조은주 · 임상현
전희경 · 백상홍 · 강동현 · 승기배 · 김재형 · 홍순조 · 최규보

Differentiation of Systolic and Diastolic Heart Failure using Strain and Strain Rate Echocardiography

Hae Ok Jung, MD, Ho Joong Youn, MD, Woo Seung Shin, MD, Pum Joon Kim, MD,
Chul Soo Park, MD, Eun Joo Cho, MD, Sang Hyun Lim, MD, Hui Kyung Jeon, MD,
Sang Hong Back, MD, Dong Heon Kang, MD, Ki Bae Seung, MD,
Jae Hyung Kim, MD, Soon Jo Hong MD and Kyu Bo Choi, MD

Department of Internal Medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives : Diastolic heart failure (DHF) is defined as clinical evidences of heart failure, with a normal ejection fraction (EF) and abnormal diastolic function. However, the distinction between DHF and SHF is often difficult. Strain (S) and strain rate (SR) echocardiography can measure the regional myocardial function as a magnitude and rate of deformation. The hypothesis "myocardial velocity (Vel), S & SR can provide additional information for differentiation DHF from SHF" was assessed. **Subjects and Methods :** 30 patients with symptomatic HF and low EF (SHF group) and 27 with symptomatic HF, and normal EF and diastolic dysfunction (DHF group) were enrolled. 37 age- and sex-matched control subjects were recruited. Conventional echo and regional indices (Vel, S and SR), measured at the mid septum and posterior wall, were obtained. **Results :** Almost all clinical and echo indices of control were different between the two HF groups. The EF, LV mass, S' and DT in DHF were greater than those with SHF. The LA size, diastolic dysfunction grades; E, A, E/A, E', A' and E/E', were not different between the two HF groups. In the regional indices, the peak S (long axis: 12.0 ± 5.4 vs. $17.6 \pm 5.9\%$, radial axis: 26.4 ± 12.7 vs. $46.0 \pm 16.7\%$) and systolic Vel (long axis: 2.6 ± 0.8 vs. 3.6 ± 0.9 cm/s, radial axis: 2.1 (1.2 vs. 3.7 ± 1.4 cm/s) with SHF were significantly lower than those with DHF. However, the SR of the two groups was not different. The best cutoff values of peak S were 13.7% (long axis) and 32.9% (radial axis), and the systolic Vel were 3.0 cm/s (long axis) and 2.8 cm/s (radial axis). **Conclusion :** The peak S and systolic Vel may be useful indices for differentiating DHF from SHF. A similarly decreased SR in the two HF groups suggests that DHF has decreased myocardial contractility, despite the normal EF. (Korean Circulation J 2004; 34(11):1090-1098)

KEY WORDS : Heart failure ; Congestive ; Strain ; Strain rate.

논문접수일 : 2004년 6월 2일

수정논문접수일 : 2004년 8월 23일

심사완료일 : 2004년 9월 15일

교신저자 : 윤호중, 150-713 서울 영등포구 여의도동 62 가톨릭대학교 의과대학 내과학교실

전화 : (02) 3779-1325 · 전송 : (02) 3779-1374 · E-mail : younhj@catholic.ac.kr

서론

이완기 심부전의 진단기준은 임상적인 심부전증세, 정상적인 심구혈을 그리고 좌심실의 이완기능장애로 정의할 수 있다.¹⁾ 이러한 이완기 심부전은 전체 심부전 환자의 40~55%를 차지하며 수축기 심부전에 비해 환자의 나이가 많고, 여성에 호발하고 좌심실 비대, 고혈압, 당뇨병, 비만, 투석중인 환자가 많다. 또한 사망률과 병상 입원율은 두군이 같다고 알려져 있다.²⁻⁴⁾ 그러나 비정상적 승모판막 유입혈류 도플러 양상은 응급치료에 의해 쉽게 사라질 수 있고, 대부분의 수축기 심부전은 이완기능 장애를 동반하며, 심구혈율이 50%내외로 애매할 경우 등 상기한 진단기준만으로 수축기 심부전과 이완기 심부전을 구분짓기 곤란한 경우를 임상에서 종종 관찰할 수 있다.⁵⁾⁶⁾

기존의 조직 도플러 영상(tissue Doppler imaging)은 국소심근의 운동속도(myocardial velocity)를 측정하여 심장의 수축과 이완기능을 평가하는데 도움을 주었으나 주위조직에 의한 끌림(tethering) 현상과 심장의 움직임(translation)에 의해 영향을 받는 단점이 있었다.⁷⁾ Strain은 조직의 원래 길이(L)에 대한 변화된 길이(ΔL)의 비($\Delta L/L$)로 표현되는 변형(deformation)의 양을 의미하며 strain rate는 strain을 시간으로 나누어 주어진 시간에 일어난 변형 즉 변형의 속도를 의미한다.⁸⁾ 최근 개발되어진 strain 및 strain rate 심장초음파는 실시간 원하는 국소부위의 변형의 양과 속도를 측정하여 객관적, 정량적으로 국소 심근기능을 평가할 수 있으며 끌림 현상이나 심장의 움직임에 영향을 받지 않는다고 알려져 있다.⁹⁾¹⁰⁾ 최근 연구들을 통해 수축기 최고 strain값은 심실의 지형적 변화(geometric change) 및 심구혈율과 연관이 있고 수축기 strain rate값은 심실의 수축력(dP/dt)과 연관이 있음이 밝혀졌다.¹¹⁾¹²⁾

본 저자들은 심부전증세를 보인 환자에서 국소심근의 운동속도와 변형 즉 strain 및 strain rate가 수축기와 이완기 심부전을 구분 짓는데 도움을 줄 수 있을지에 대해 연구하여 보았다.

대상 및 방법

대 상

본 연구는 2002년 3월부터 2003년 8월까지 호흡곤

란등의 증세로 가톨릭의대 강남성모병원 응급실로 내원하여 흉부 X선 검사와 이학적 검사에서 폐울혈 소견을 보였던 환자중 적절한 심장초음파검사가 이루어졌던 환자들을 대상하였다. Framingham 기준²⁾¹³⁾에 따른 심부전의 정의에 합당한 증상과 징후를 보인 57명의 환자들 중 심구혈율이 45%미만인 환자들은 수축기 심부전군(n=30, 평균 48세)으로, 심구혈율이 55%이상이며 승모판막 유입혈류 도플러 파형분석상 이완기능 장애를 보였던 환자들은 이완기 심부전군(n=27, 평균 54세)으로 각각 분류하였다. 또한 두군과의 비교를 위해 나이와 성 비율을 맞춘 정상 대조군(n=37, 평균 50세)을 두었다. 심구혈율이 정상의 경계값인 45~54%였던 8명의 환자는 배제하였다. 또한 심부전증 환자중 심방세동 및 빈번한 심방, 심실 기외수축등 부정맥환자, 중등도 이상의 승모판막 및 대동맥판막증 환자, 인공심장판막 및 심장박동기 보유환자, 심외막 삼출환자, 심실중격 및 후벽에 심한 괴사로 인해 적절한 조직 도플러 연구를 할 수 없었던 환자들도 연구에서 배제하였다.

심장초음파

Vivid-5 심장초음파(GE Vingmed, Horten, Norway)의 2.5-MHz 탐촉자를 이용하여 기본적인 2면, M형 및 도플러 초음파도를 측정하였다. 심구혈율의 측정은 변형 심슨씨 방법을,¹⁴⁾ 심실질량(LV mass)은 Devereux씨의 방법¹⁵⁾을 각각 채택하였다. 이완기능은 손 등¹⁶⁾이 제시한 바 있는 승모판막첨부위에서 측정한 이완기 승모판막 유입혈류 간헐과 도플러 양상 및 내측 승모판막륜에서 측정한 이완기 조직도플러 양상을 비교분석하여 정상(normal), 이완장애(impaired relaxation), 가정상(pseudonormal), 제한성(restrictive) 중 하나로 분류하였으며 이들 4단계 각각에 순서대로 0점에서 3점까지 이완장애 등급을 매겼다. 승모판막 유입혈류 도플러파형에서는 조기(E) 및 말기(A) 이완기 혈류속도, 감속시간(deceleration time, DT)을 측정하였고, 승모판막륜 조직 도플러파형에서는 수축기(S'), 조기이완기(E') 그리고 말기이완기(A')의 승모판막륜 속도(annular velocity)를 측정, 기록하였다.

Strain and strain rate 심장초음파

Strain이란 가해진 힘에 비례한 조직의 상대적인 변형(relative deformation)을 뜻하며 물리학적인 정의는

한 물질의 원래의 길이(L_0)에 대한 변화된 길이(ΔL)의 비이다. 즉 간단한 직선변형의 경우 $\Delta L/L_0$ 공식에 의해 표현되며 단위는 %이다. 반면 strain rate는 strain에 시간적인 의미가 붙여진 개념으로써 공식상 단위시간당 변형(dS/dt)으로 표현되며 변형의 속도(rate of deformation)을 뜻한다. 다시 말해 심근조직의 변형이 얼마나 빨리 일어나는가를 표현하며 단위는 sec^{-1} 이다.⁸⁾ 실제 3차원적인 조직내에서는 strain rate가 조직내 주어진 두점(p_1 과 p_2)사이에서의 순간적인 속도차($V_{p1}-V_{p2}$)의 공식으로 표현되며, strain은 strain rate를 시간으로 적분하여 구해지게 된다(Fig. 1).⁹⁾¹⁰⁾

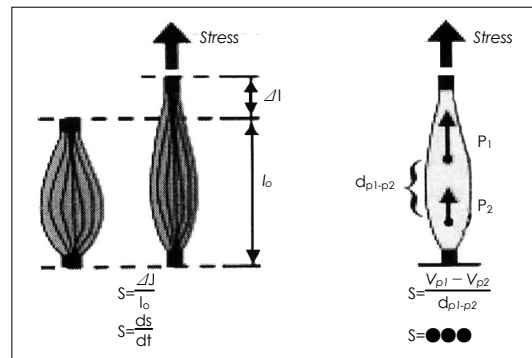


Fig. 1. Schematic explanations of strain and strain rate in linear tissue. S: strain, SR: strain rate.

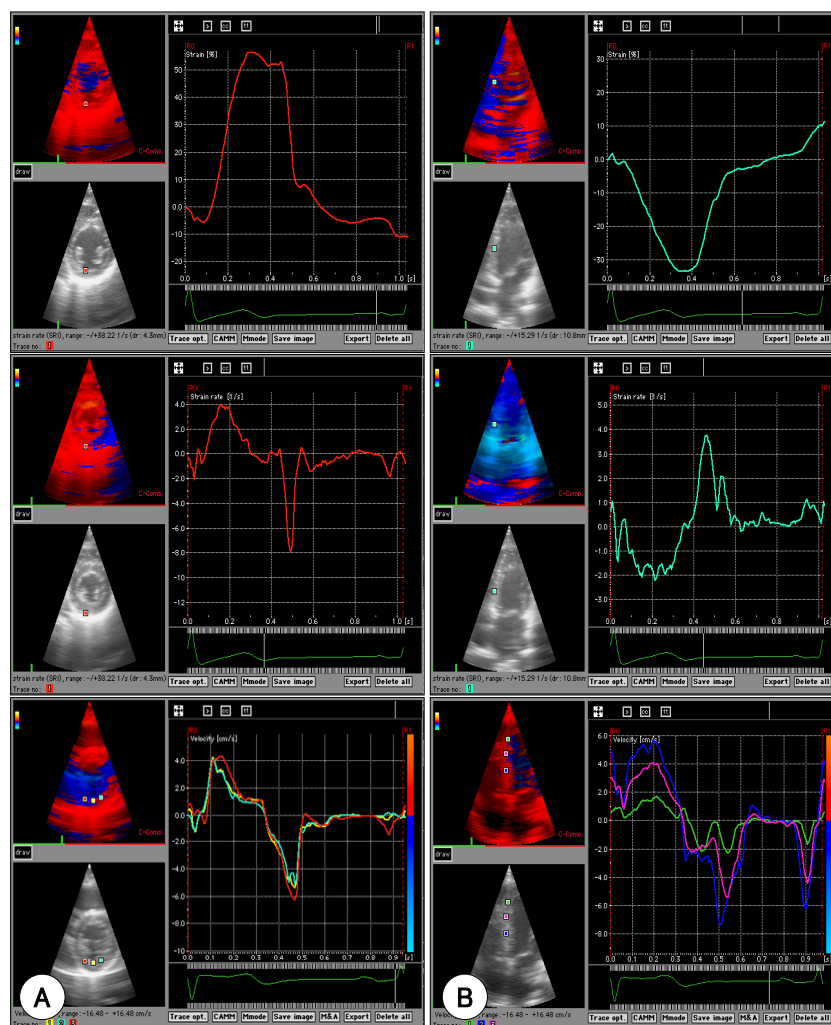


Fig. 2. Representative curves of strain, strain rate, and myocardial velocity. A: radial axis strain curve (upper), strain rate curve (middle) and myocardial velocity curve (lower) measured at posterior wall of LV. B: long axis strain curve (upper), strain rate curve (middle) and myocardial velocity curve (lower) measured at mid septum of LV.

본 연구에서 strain 및 strain rate의 측정, 저장 및 사후분석(post-processing)의 모든 과정은 Vivid-5 심장초음파와 장치에 내장된 offline analysis 소프트웨어(EchoPAC 6.3.6, GE Vingmed)를 이용하였다. 먼저 조직 도플러영상 방식하에서 2.5 MHz 탐촉자를 이용하여 얻어진 심첨4방도(apical 4 chamber view)와 흉골연 단축도(parasternal short axis view)상 좌심실 영상에 색채를 배치(coordination)시켜 색채부호화 조직도플러 영상(color coded tissue doppler image)을 만들었다. 영상의 질을 높이기 위해서 색채를 입히기 전 흑백영상(grey scale image)의 화면을 초당 150 이상의 frame rate, 16cm이상의 깊이(depth) 그리고 화면각(image angle)은 되도록 좁게 조절하였다. 조직의 변형을 측정하기 위해 분석 부위의 두 지점간 거리 즉 원래 길이(L_0)인 offset-distance는 장축 10 mm, 단축은 5 mm로 지정하였다.⁸⁻¹⁰⁾ 사후분석을 위해 색채부호화 조직도플러 영상을 3번의 심주기동안 반복영상으로 디지털화하여 저장하였으며 저장시 환자의 움직임을 최소화하고 호흡을 멈추게 하였다. 이렇게 저장된 영상을 EchoPAC 소프트웨어를 이용하여 불러낸 후 좌심실에서 분석위치인 심실중격과 후벽에 관심부위(ROI)를 지적하여 그 부위 심근의 strain 곡선, strain rate 곡선 그리고 운동속도 곡선을 그려내었다(Fig. 2).¹⁷⁾ 저자들은 strain 곡선에서는 peak strain(%)을 측정했고, strain rate 곡선에서는 수축기 strain rate, 초기 이완기 strain rate, 말기 이완기 strain rate를 주요지수로 측정했다. 심근속도 곡선에서는 수축기 심근속도, 초기 이완기 심근속도 그리고 말기이완기 심근속도를 측정했다. 장축 방향의 strain 및 strain rate는 심첨 4방도상 심실중격 중간부에서, 방사방향의 strain 및 strain rate는 흉골연 단축도상 좌심실 후벽에서 각각 측정하였으며 3번의 반복측정후 평균치를 산출하였다.¹⁷⁾

통 계

임상적 특징중에서 범주형 값은 %로 표현했으며 심장초음파로 측정된 데이터값은 평균±표준편차의 형식으로 표현했다. 통계적 처리는 microsoft SPSS 9.0을 이용하였다. 세군간 평균의 차이를 분석하기 위해 ANOVA를 사용했고 사후분석은 post-hoc Bonferroni 분석을 이용하였다. 이완기 심부전과 수축기 심부전을 감별키 위한

가장 우수한 절단값(cut-off value)을 찾기 위해 ROC 곡선을 이용하였다. p값이 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미있는 차이가 있다고 해석했다.

결 과

임상적 특징

세군 사이에 나이와 성별의 차이가 없었으나 정상 대조군에 비해 두 심부전군(SHF군과 DHF군)은 뉴욕심장협회 기능분류 점수가 높았고 당뇨, 고혈압, 심근경색증 그리고 뇌졸중의 과거력이 있는 환자가 의미있게 많았다. 그러나 두 심부전군 사이에는 의미있는 차이가 없었다(Table 1).

심장초음파 검사결과

정상군은 심구혈율등 대부분의 심장초음파상 지표들에 있어 두 심부전군과 의미있는 차이를 보였다. 좌심실 직경은 수축기 심부전군이 의미있게 컸다. 반면 심구혈율과 심실질량은 이완기 심부전군이 의미있게 컸다(Table 2). 이완기 기능검사상 이완장애 등급, E, A, E/A 비, E', A', E/E' 비 등은 양군간 차이가 없었으나 감속시간은 이완기 심부전군이 의미있게 길었다. 수축기 승모판막륜 속도는 이완기 심부전군에 비해 수축기 심부전군이 의미있게 감소되어 있었다(Table 3).

Table 1. Clinical characteristics of patients

	SHF (n=30)	DHF (n=27)	Control (n=37)
Age (years)	48.1±16.1	54.0±14.5	49.8±17.8
Sex (% of male)	46.7	55.6	45.9
NYHA Fc	2.6±0.6*	2.4±0.4*	1
DM (%)	43.3*	33.3	13.5
HBP (%)	36.7	51.9*	16.2
Dyslipidemia (%)	30.0	25.9	13.5
Smoking (%)	20.0	22.2	18.9
MI (%)	26.7*	11.1*	0
CVA (%)	13.3*	7.4	0
BMI (Kg/m ²)	23.7±3.4	23.9±3.2	22.2±2.8

BMI: body mass index, CVA: cerebrovascular accident, DHF: diastolic heart failure, DM: diabetes mellitus, HBP: hypertension, MI: myocardial infarction, NYHA Fc: New-York heart association functional classification, SHF: systolic heart failure. *: p<0.05 vs control.

Table 2. Comparisons of 2D and M-mode echocardiographic results

	SHF (n=30)	DHF (n=27)	Control (n=37)
EF (%)	34.2± 6.5 [†]	61.9± 9.1 [*]	69.1± 8.8
LV mass (gram)	184.9± 65.5 [†]	226.0± 36.6 [*]	125.2± 26.0
LVDd (mm)	62.8± 7.0 [†]	53.4± 5.8 [*]	47.3± 3.0
LVDs (mm)	52.7± 8.0 [†]	35.0± 6.0 [*]	28.7± 4.1
LAD (mm)	47.1± 7.1 [*]	45.2± 7.6 [*]	37.8± 5.4
EF (%)	34.2± 6.5 [†]	61.9± 9.1 [*]	69.1± 8.8

DHF: diastolic heart failure, EF: ejection fraction, LAD: left atrial dimension, LVDd: end-diastolic left ventricular dimension, LVDs: end-systolic left ventricular dimension, SHF: systolic heart failure. *: p<0.05 vs control, †: p<0.05 vs DHF.

Table 3. Comparisons of Doppler echocardiographic results

	SHF (n=30)	DHF (n=27)	Control (n=37)
Transmitral E	83.7±25.6	76.4±24.5	70.4±14.2
Inflow A	54.9±29.0	56.5±18.1	68.6±17.3
Doppler E/A	1.8± 0.9 [*]	1.5± 0.5	1.1± 0.4
DT	136.5±56.6 [†]	191.9±49.0	182.7±44.4
Mitral annular S'	3.9± 0.8 [†]	6.9± 2.4	8.3± 1.2
velocity E'	4.6± 0.9 [*]	4.9± 1.0 [*]	8.9± 1.8
A'	5.3± 1.5 [*]	6.5± 2.4 [*]	8.6± 1.2
E/E'	18.4± 6.8 [*]	15.8± 4.9 [*]	8.7± 1.8
Diastolic grading	2.3± 0.8 [*]	1.9± 0.5 [*]	0.6± 0.5

A: late diastolic mitral inflow velocity, A': late diastolic mitral annular velocity, DHF: diastolic heart failure, DT: deceleration time, E: early diastolic mitral inflow velocity, E': early diastolic mitral annular velocity, S': systolic mitral annular velocity, SHF: systolic heart failure.

*: p<0.05 vs control, †: p<0.05 vs DHF.

국소 심근기능의 평가

심근속도 지수들중 수축기 심근속도만이 장축과 방사향 모두에서 세군(SHF vs DHF vs control) 간 각각 의미있는 차이를 보였다(장축향 2.6±0.8 vs 3.6±0.9 vs 3.9±1.1, 방사향 2.1±1.2 vs 3.7±1.4 vs 4.4±0.9 cm/s) (Fig. 3). Peak strain 역시 장축과 방사향 모두에서 세군간 각각 의미있는 차이를 보였다(장축향 12.0±5.4 vs 17.6±5.9 vs 23.5±7.0, 방사향 26.4±12.7 vs 46.0±16.7 vs 64.8±29.6) (Fig. 4). 반면 대부분의 strain rate지수들은 장축과 방사향 모두 수축기 심부전군이 정상군에 비해 감소되어 있었으나 그 어떤 지수도 이완기 심부전군과 수축기 심부전군간에 의미있는 차이를 보여주지 못했다(Fig. 5).

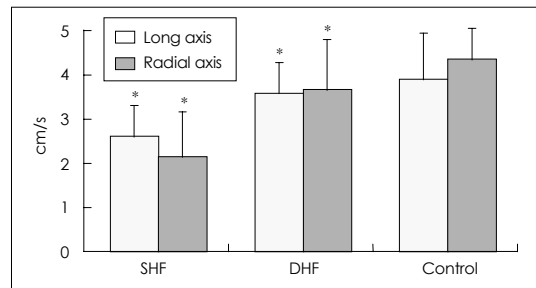


Fig. 3. Comparisons of systolic myocardial velocity measured at mid-septum (long axis) and posterior wall (radial axis) of LV. *: p<0.05 vs control, †: p<0.05 vs DHF. SHF: systolic heart failure, DHF: diastolic heart failure.

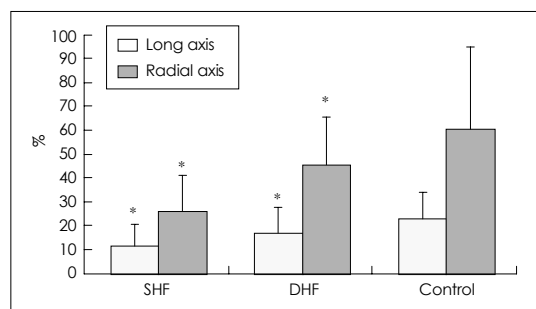


Fig. 4. Comparisons of peak strain measured at mid-septum (long axis) and posterior wall (radial axis) of LV. *: p<0.05 vs control, †: p<0.05 vs DHF. SHF: systolic heart failure, DHF: diastolic heart failure.

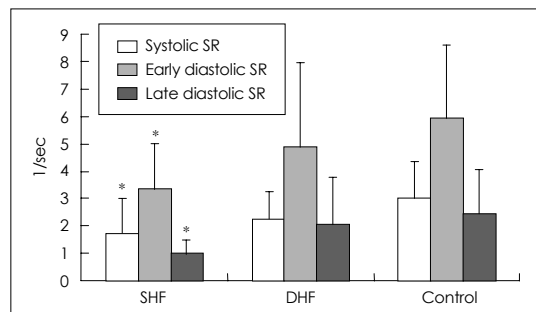


Fig. 5. Comparisons of radial axis strain rate measured at posterior wall of LV. *: p<0.05 vs control. SHF: systolic heart failure, DHF: diastolic heart failure, SR: strain rate.

절단값(Cut-off value)

위 결과를 토대로 세군간 각각 의미있는 차이를 보인 국소 기능지수인 peak strain과 수축기 심근속도를 이용하여 이완기 심부전과 수축기 심부전을 감별기 위한 가장 우수한 절단값을 찾기위해 ROC 곡선을 그려본 결과 peak strain의 절단값은 장축향 13.7%(민감도75%, 특이도 71%, AUC 0.744), 방사향 32.9%(민감도75%,

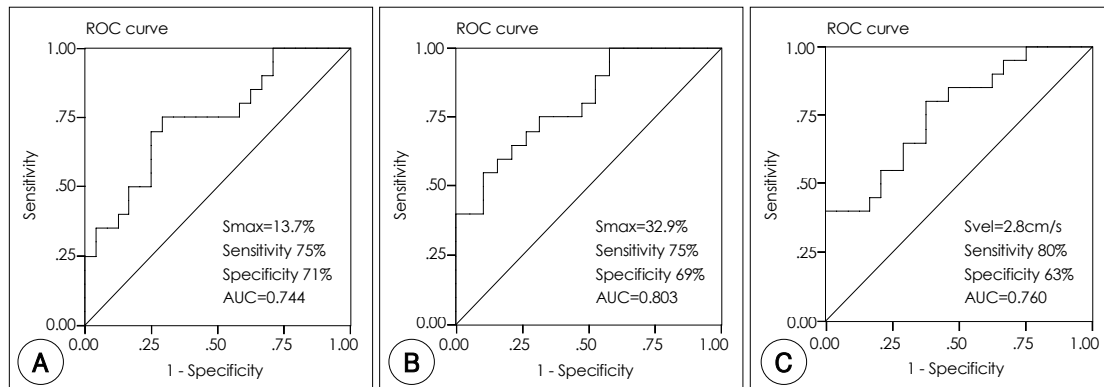


Fig. 6. Receiver operating characteristic curves of long axis peak strain (A), radial axis peak strain (B), and radial axis systolic myocardial velocity (C). Smax: peak strain, Svel: systolic myocardial velocity.

특이도 69%, AUC 0.803)였으며, 수축기 심근속도의 절단값은 장축향 3.0 cm/s(민감도 78%, 특이도 74%, AUC 0.795), 방사향 2.8 cm/s(민감도 80%, 특이도 65%, AUC 0.760)였다(Fig. 6).

Reproducibility

10명의 정상군과 5명의 수축기 심부전군, 5명의 이완기 심부전군의 환자를 무작위 추출하여 이들의 방사향 peak strain값과 장축향 systolic strain rate값에 대한 reproducibility를 분석하였다. 3번의 측정값의 절대차를 측정값의 평균값으로 나누어 intra-observer variability를 계산한 결과 strain의 intra-observer variability는 $6.5 \pm 4.6\%$, strain rate의 intra-observer variability는 $9.8 \pm 6.7\%$ 였다.

고 찰

심부전의 교과서적 정의는 다양한 원인에 기인한 심기능의 이상으로 인하여 조직대사에 필요한 만큼 충분한 혈류를 공급하지 못하거나, 비정상적으로 filling pressure 혹은 volume이 증가되어야만 혈류를 공급할 수 있는 심장의 상태를 일컫는다.¹⁾⁶⁾ 심부전은 그 발생기전과 양상에 따라 좌심부전 대 우심부전, 고박출부전 대 저박출부전, 수축기 심부전 대 이완기 심부전등 다양한 분류를 할 수 있다. 임상에서 심부전을 정의하기 위해서는 Framingham 기준에 따라 야간 발작성 호흡곤란, 나옴등 8개 주기준과 사지부종, 흉막삼출등 7개의 부기준중 3개 이상이 포함되어야 한다.²⁾⁶⁾¹³⁾ 즉 심부전은 임상적 기

준만으로도 진단이 가능하며 심장초음파 검사는 진단기 준에는 포함되지 않고 진단을 확인하고 심부전의 원인을 파악하며 환자의 상태를 추적하는 역할을 해왔다.⁶⁾ 특히 심구혈율(ejection fraction)은 심기능 특히 수축기능을 평가하는 가장 중요한 심장초음파 지수로 평가받아 왔다.¹²⁾ 반면 승모판막 유입혈류에 대한 도플러 파형분석은 이완기능을 평가하는 대표적인 방법이다.¹³⁾¹⁸⁾ 상기한 수축기 심부전 대 이완기 심부전의 분류는 도플러 심장초음파 검사가 임상에서 일상적으로 사용된 이후 대두되었다고 해도 과언이 아니다. 수축기 심부전의 정의는 임상적으로 심부전에 부합하는 증상과 징후들과 함께 수축기 심기능 즉 심장초음파상 심구혈율이 정상이하로 감소되어있는 경우이며 반면 이완기 심부전은 임상적 심부전 증상과 징후, 정상적 심구혈율 그리고 비정상적인 이완기능을 보일 경우로 정의한다.¹⁾⁶⁾ 이러한 이완기 심부전은 전체 심부전 환자의 40~55%를 차지하며 수축기 심부전에 비해 환자의 나이가 많고, 여성에 호발하며 좌심실이 비대하며 고혈압, 당뇨병, 비만, 투석중인 환자가 많다. 또한 놀랍게도 사망률과 병상입원율은 두군이 같다고 알려져 있다.³⁾ 이완기 심부전의 높은 유병률과 사망률에 비해 이완기 심부전에 대한 진단 및 치료는 수축기 심부전에 비해 덜 연구되어져 있는 이유중에 하나는 임상에서 두 심부전간 감별이 쉽지 않은데 있다. 정상 심구혈율의 기준이 연구에 따라 약간씩 다르며 그 측정값은 검사자에 따라 혹은 같은 검사자라도 날마다 변동이 있을 수 있다. 또한 심구혈율 자체가 심근의 수축력을 반영하는 인자가 아닌 부피의 변화 즉 심박출을 대표하는 인자로써 전부하, 심박수등에 영향을 많이 받는

다.¹⁾⁶⁾¹⁹⁾ 심부전에 관한 한 연구에서는 환자의 운동능력과 심구혈율은 연관이 거의 없다는 보고를 한 바 있다.²⁰⁾ 또한 대다수의 수축기 심부전은 이완장애를 동반하기 때문에 심구혈율이 경계값인 50% 내외일 경우 구분이 모호해질 수도 있다. 또한 이완기 심부전의 초기에 발현되는 이완장애는 치료와 함께 쉽게 사라지기도 한다. 최근에는 응급실내원 당시 채취한 혈액내 BNP값으로 두군을 구분할 수 있다는 보고들도 있다.²¹⁾

지금까지 심장초음파를 이용한 심기능의 평가는 그 관점에 따라 수축기 심기능 대 이완기 심기능, 전체 심기능 대 국소 심기능, 좌심기능 대 우심기능 등 다양하다. 특히 지금까지의 국소심근기능 평가는 흉골연 장축도 혹은 단축도에서 M 형식을 이용한 심실벽 편위(excursion) 분석, 나안(naked eye)으로 국소벽 운동(regional wall motion)의 평가 그리고 조직 도플러영상(tissue Doppler imaging)을 이용하여 조직의 운동속도를 측정하는 것 등이 대부분이었다.¹⁴⁾ 그러나 M 형식의 경우 정량적이지만 초음파의 진행방향과 평행하게 움직이는 심실중격과 후벽의 방사방향 움직임만을 평가할 수 있고 심첨부는 분석이 힘든 단점이 있다. 나안분석의 경우는 미세한 기능장애를 발견키 어렵고 주관적이며 질적(qualitative) 혹은 반양적(semiquantitative) 표현만이 가능하다는 단점이 있다. 반면 조직 도플러영상에서 심근속도 측정은 거의 모든 부위에서 운동속도 분석이 가능하고 객관적이며 정량적(quantitative)인 표현이 가능하기 때문에 국소 심근기능의 평가에 유용하다고 알려져 있으나 주위조직에 의한 끌림(tethering)현상 및 심장의 움직임(translation)에 의해 영향을 받는 치명적인 단점이 있다.⁷⁾

Strain과 strain rate는 원래 물리학에서 유래한 용어로서 가해진 힘에 비례한 조직의 상대적인 변형(relative deformation)의 양과 속도를 뜻한다. 심장에서 변형을 측정하여 국소 심근기능을 평가하려는 시도는 원래 sonomicrometry와 자기공명영상을 이용한 연구에서 출발하였으며,²²⁾²³⁾ 최근 출시되어지고 있는 심장초음파 중에는 실시간으로 국소조직의 변형 즉 strain과 strain rate를 측정할 수 있는 소프트웨어를 내장하고 있다. 여러 연구들을 통해 strain 및 strain rate 심장초음파는 국소 심근기능을 평가함에 있어 객관적이고 양적인 표현이 가능하며 거의 대부분의 심장부위를 평가할 수 있으며 거기에 끌림현상이나 심장의 움직임에 영향을 받지 않는 장점이 있음이 밝혀졌다.⁹⁾¹⁰⁾ 또한 최근 연구들

은 strain 및 strain rate를 이용하여 정상 심장중 한 부위의 국소적 변형의 양 혹은 속도를 측정하면 전체 심실의 기능을 대신 평가할 수 있다는 결과를 보고한 바 있다. 특히 수축기의 최고 strain값은 심실의 지형적 변화(geometric change)와 심구혈율과 양의 상관관계가 있으며, 수축기 strain rate값은 심근의 수축력(contractility, dP/dt)과 연관이 있음이 밝혀졌다.¹¹⁾¹²⁾

본 연구의 결과를 볼 때 이완기 심부전과 수축기 심부전 사이에 통상적인 이완기능 즉 E/A 비, DT 값, E/E' 비등은 차이가 없었다. 반면 심구혈율과 수축기기능을 표현한다고 알려진 수축기 승모판막륜 속도등은 수축기 심부전군이 의미있게 적었다. 반면 양군간 strain 및 strain rate의 여러 지수 중 peak strain값만이 의미있는 차이를 보였고 strain rate는 정상보다는 감소되어 있었지만 차이가 없었다. Strain이 양군간 차이가 나는 이유는 향후 더 많은 연구가 필요하겠지만 과거의 여러 연구결과들 중 strain이 주로 심실의 지형적 변화(geometric change) 즉 심구혈율과 연관이 많다는 결과를 고려한다면 수축기 심부전은 정상환자나 이완기 심부전에 비해 심실의 지형적 변화가 적으므로 양군간 차이가 나는 것이라 사료된다. 반면 심근의 수축력을 표현한다고 알려진 strain rate가 수축기 심부전군에서 뿐 아니라 이완기 심부전군에서도 떨어져 있는 이유는 이완기 심부전군에서는 많은 연구들이 일치하게 지적하듯 임상적 특징중 좌심실의 질량증가와 좌심실 비대의 경향을 볼 수 있다는 점이다. 좌심실 비대는 심실(chamber)기능을 표현하는 심구혈율은 정상 혹은 과정상이지만 심근기능(myocardial function)의 관점에서는 정상에 비해 감소되어 있다. 즉 비대심근의 수축능력은 정상보다 감소되어 있으며 이것이 심구혈율이 정상임에도 이들의 임상적 예후가 좋지 않은 이유이다. 그러므로 좌심실비대증 환자의 경우 심내막(endocardium)이 아닌 중벽(midwall)을 기준으로 분석해야 정확한 심기능 분석이 가능하다는 연구보고들이 있다.²⁴⁾²⁵⁾

결과적으로 수축기 심부전은 strain(지형변화)도 떨어져 있고 strain rate(수축력)도 떨어져 있는 반면, 이완기 심부전은 strain이 정상보다는 떨어져 있지만 수축기 심부전보다는 크며 strain rate는 차이가 없다. 이 결과는 이완기 심부전이 심실의 심구혈율이 어느 정도 유지되는 상황에서 심실비대에 의해 심근의 수축력이 감소되어 있으며 이것이 이완기 심부전의 병인중 하나임을

유추해 볼수 있을 것이다. 최근 이를 뒷받침하는 유사한 연구가 발표되었는데 고혈압과 정상 심구혈율을 가진 심비대환자들은 정상보다 strain rate가 감소되어 있으며 이를 통해 수축기능이 떨어져 있음을 증명하였다.²⁶⁾

본 연구는 연구대상의 수에 있어 모집단을 대표한다고 보기에 연구대상의 수가 적은 단점이 있다. 본 연구에서는 수축기 심부전과 이완기 심부전을 분류하는 gold standard로 알려진 심구혈율을 가지고 두 군을 구분함에 있어 양군간의 극명한 대조를 위해 그 경계값인 45~54%에 속하는 환자들을 배제하였는데 실제 임상에서는 이 범주에 많은 심부전 환자들이 속해 있다. 또한 이들의 응급실 내원전 혹은 심장초음파 검사전 원래 소견이 디지털리스나 이노제 치료 등으로 인해 변질되었을 가능성을 배제할 수 없다. Strain 및 strain rate 심장초음파 자체의 제한점으로는 초음파 beam을 따라 움직이는 조직의 변형만을 측정할 수 있기 때문에 원하는 심근의 운동방향과 음파의 축간의 각도가 평행치 않을 경우 값의 차이가 날 수 있으며 strain rate는 조직내 5~10 mm간격의 두점내의 변형의 속도를 측정하는 것이므로 매우 정밀한 반면 취득한 영상의 질이 좋지 않을 경우 곡선에 많은 떨림현상(noise)을 볼 수 있다. 저자들은 이런 경향이 있는 경우 다시 영상을 취득하든가 세차례 이상의 측정을 통해 이를 평균하였다. 본 연구에서 저자의 intra-observer variability는 strain 6.5±4.6%, strain rate 9.8±6.7%로 strain rate가 약간 높은 경향을 보였으나 타 연구와 비교하여 높은 수치는 아니었다.⁹⁾²⁷⁾ 하지만 inter-observer variability는 시행치 못하였다. 두 심부전군 사이에 peak strain과 수축기 심근속도만이 차이가 난다고 하였지만 반대로 이들 strain과 심근속도만으로 양 심부전군을 완벽하게 감별할 수 있다고 하기에 본 연구의 데이터만으로는 제한이 있으며 향후 많이 연구가 진행되기까지는 감별에 있어 기존의 여러 parameter가 함께 고려해야 할 것으로 사료된다.

요 약

배경 및 목적:

이완기 심부전의 진단기준은 임상적인 심부전 증상과 징후, 정상적 심구혈율 그리고 비정상적인 이완기능을 보일 경우로 정의한다. 그러나 상기한 진단기준만으로

수축기 심부전과 이완기 심부전을 구분짓기 곤란한 경우를 임상에서 관찰할 수 있다. 기존의 조직 도플러 영상에서 파생된 strain 및 strain rate 심장초음파는 국소심근의 변형의 양과 속도를 측정하여 실시간 국소심근의 기능을 평가할 수 있다. 저자들은 심부전증세를 보인 환자에서 국소심근의 심근속도와 strain 및 strain rate가 수축기 심부전과 이완기 심부전을 구분짓는데 도움을 줄 수 있을지 연구해 보았다.

방 법:

심부전증세로 응급실로 내원하여 통상적 심초음파 검사와 더불어 strain 및 strain rate 심장초음파 검사를 시행받은 환자들중 심구혈율이 45%미만인 환자들은 수축기 심부전군(n=30, 평균 48세)으로, 심구혈율이 55% 이상이며 승모판막 유입혈류 도플러 파형분석상 이완 기능장애를 보였던 환자들은 이완기 심부전군(n=27, 평균 54세)으로 분류하고 정상군(n=37, 평균 50세)을 대비하여 세군간 심초음파상 여러 지수들과 함께 국소심근 기능지수들(심근속도, strain 및 strain rate)을 비교하였다.

결 과:

정상군은 임상적 특징과 심구혈율등 대부분의 심장초음파상 지표들에 있어 두 심부전군과 의미있는 차이를 보였다. 두 심부전군 사이의 비교에서는 좌심실 직경(62.8 ± 7.0 vs 53.4 ± 5.8 mm)은 수축기 심부전군이 컸으나, 심구혈율(34.2 ± 6.5 vs $61.9 \pm 9.1\%$), 심실질량(184.9 ± 65.6 vs 226.0 ± 36.6 gram), S' (3.9 ± 0.8 vs 6.9 ± 2.4 cm/s), 감속시간(136.5 ± 56.6 vs 191.9 ± 49.0 msec)은 이완기 심부전군이 컸다. 심방크기, 이완기장애 등급, E, A, E/A, E', A', E/E' 등은 양군간 차이가 없었다. 국소심근기능 지수중 peak strain(장축향 12.0 ± 5.4 vs $17.6 \pm 5.9\%$, 방사향 26.4 ± 12.7 vs $46.0 \pm 16.7\%$)과 수축기 심근속도(장축향 2.6 ± 0.8 vs 3.6 ± 0.9 cm/s, 방사향 2.1 ± 1.2 vs 3.7 ± 1.4 cm/s)만이 두 심부전군 사이에 의미있는 차이를 보이며 수축기 심부전군이 적었다. 반면 strain rate는 두군간에 의미있는 차이가 없었다. 이완기 심부전과 수축기 심부전을 감별키 위한 가장 우수한 절단값은 peak strain의 경우 장축향 13.7%, 방사향 32.9%이었고 수축기 심근속도는 장축향 3.0cm/s, 방사향 2.8cm/s이었다.

결 론:

Peak strain과 수축기 심근속도가 임상에서 두 심부전

을 감별하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 두 심부전군의 strain rate가 차이없이 감소되어 있는 것은 이완기 심부전이 심구혈율은 정상이지만 심근수축력이 감소되어 있음을 시사한다.

중심 단어 : 심부전 ; Strain ; Strain rate.

REFERENCES

- 1) Zile MR, Brutsaert DL. *New concepts in diastolic dysfunction and diastolic heart failure: part I. diagnosis, prognosis, and measurements for diastolic function. Circulation* 2002; 105:1387-93.
- 2) Vasan RS, Larson MG, Benjamin EJ, Evans JC, Reiss CK, Levy D. *Congestive heart failure in subjects with normal versus reduced left ventricular ejection fraction: prevalence and mortality in a population based cohort. J Am Coll Cardiol* 1999;33:1948-55.
- 3) Jessup M, Brozena S. *Heart failure. N Engl J Med* 2003; 348:2007-18.
- 4) Senni M, Redfield MM. *Heart failure with preserved systolic function: a different natural history? J Am Coll Cardiol* 2001;38:1277-82.
- 5) Banerjee P, Banerjee T, Khand A, Clark AL, Cleland JG. *Diastolic heart failure: neglected or misdiagnosed? J Am Coll Cardiol* 2002;39:138-41.
- 6) Vasan RS, Levy D. *Defining diastolic heart failure: a call for standardized diagnostic criteria. Circulation* 2000;101: 2118-21.
- 7) Abraham TP, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Belohlavek M, Seward JB. *Strain rate imaging for assessment of regional myocardial function: results from a clinical model of septal ablation. Circulation* 2002;105:1403-6.
- 8) Pislaru C, Abraham TP, Belohlavek M. *Strain and strain rate echocardiography. Curr Opin Cardiol* 2002;17:443-54.
- 9) Voigt JU, Arnold MF, Karlsson M, Hubber L, Kukulski T, Hatle L, Sutherland GR. *Assessment of regional longitudinal myocardial strain rate derived from doppler myocardial imaging indexes in normal and infarcted myocardium. J Am Soc Echocardiogr* 2000;13:588-98.
- 10) Kowalski M, Kukulski T, Jamal F, D'hooge J, Weidenmann F, Rademakers F, Bijns B, Hatle L, Sutherland GR. *Can natural strain and strain rate quantify regional myocardial deformation?: a study in healthy subjects. Ultrasound Med Biol* 2001;27:1087-97.
- 11) Weidemann F, Jamal F, Sutherland GR, Claus P, Kowalski M, Hatle L, DeScheerder I, Rademakers FE, Bijns B. *Myocardial function defined by strain rate and strain during alterations in inotropic states and heart rate. Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2002;283:H792-9.
- 12) Greenberg NL, Firstenberg MS, Castro PL, Main M, Travalini A, Odabashian JA, Drinko JK, Rodriguez LL, Thomas JD, Garcia MJ. *Doppler-derived myocardial systolic strain rate is a strong index of left ventricular contractility. Circulation* 2002;105:99-105.
- 13) McKee PA, Castelli WP, McNamara PM, Kannel WB. *The natural history of congestive heart failure. N Engl J Med* 1971;285:1441-6.
- 14) Oh JK, Seward JB, Tajik AJ. *The echo manual. 2nd ed. Rochester: Lippincott-Raven; 1999. p.41-2.*
- 15) Devereux RB, Alonso DR, Lutas EM, Gottlieb GJ, Campo E, Sachs I, Reichel N. *Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. Am J Cardiol* 1986;57:450-8.
- 16) Sohn DW, Chai IH, Lee DJ, Kim HC, Kim HS, Oh BH, Lee MM, Park YB, Choi YS, Seo JD, Lee YW. *Assessment of mitral annulus velocity by Doppler tissue imaging in the evaluation of left ventricular diastolic function. J Am Coll Cardiol* 1997;30:474-80.
- 17) Jung HO. *Strain and Strain rate echocardiography. J Korean Soc Echocardiogr* 2002;10:13-8.
- 18) Khouri SJ, Maly GT, Suh DD, Walsh TE. *A practical approach to the echocardiographic evaluation of diastolic function. J Am Soc Echocardiogr* 2004;17:290-7.
- 19) Mann AL. *Heart failure. 1st ed. Philadelphia: Saunders; 2004. p.515.*
- 20) Cohn JN, Johnson G. *Heart failure with normal ejection fraction: the V-HeFT study. Circulation* 1990;81:III48-53.
- 21) Maisel AS, McCord J, Nowak RM, Hollander JE, Wu AH, Duc P, Omland T, Storrow AB, Krishnaswamy P, Abraham WT, Clopton P, Steg C, Aumont MC, Westheim A, Knudsen CW, Perez A, Kamin R, Kazanegra R, Herrmann HC, McCullough PA. *Bedside B-type natriuretic peptide in the emergency diagnosis of heart failure with reduced or preserved ejection fraction: results from the breathing not properly multinational study. J Am Coll Cardiol* 2003;41:2010-7.
- 22) Waldman LK, Fung YC, Covell JW. *Transmural myocardial deformation in the canine left ventricle: normal in vivo three-dimensional finite strains. Circ Res* 1985;57:152-63.
- 23) Zerhouni EA, Parish DM, Rogers WJ, Yang A, Shapiro EP. *Human heart: tagging with MR imaging: a method for noninvasive assessment of myocardial motion. Radiology* 1988;169:59-63.
- 24) Shimizu G, Hirota Y, Kita Y, Kawamura K, Saito T, Gaasch WH. *Left ventricular midwall mechanics in systemic arterial hypertension: myocardial function is depressed in pressure-overload hypertrophy. Circulation* 1991;83:1676-84.
- 25) de Simone G, Devereux RB, Koren MJ, Mensah GA, Casale PN, Laragh JH. *Midwall left ventricular mechanics: an independent predictor of cardiovascular risk in arterial hypertension. Circulation* 1996;93:259-65.
- 26) Poulsen SH, Andersen NH, Ivarsen PI, Mogensen CE, Egeblad H. *Doppler tissue imaging reveals systolic dysfunction in patients with hypertension and apparent "isolated" diastolic dysfunction. J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:724-31.
- 27) Pellerin D, Sharma R, Elliott P, Veyrat C. *Tissue doppler, strain, and strain rate echocardiography for the assessment of left and right systolic ventricular function. Heart* 2003; 89 (Suppl 3):III9-17.